

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：14701

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500342

研究課題名(和文)非定常信号モデルとその係数推定手法の開発および時変スペクトル表現の提案

研究課題名(英文) Modeling and Parameter Estimation for Nonstationary Signals and Its Spectrum Representation

研究代表者

井嶋 博 (IJIMA, Hiroshi)

和歌山大学・教育学部・教授

研究者番号：90397604

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：不規則信号を表現する数学モデルは、これまで多くの研究者により開発されてきた。このようなモデルの多くはその数学的取り扱い易さから定常過程として表現されている。しかし、自然界の信号などはその統計的性質が時々刻々変化する非定常な振舞いをするため、信号本来の性質を表現することができるモデルが必要とされていた。本研究ではこのような非定常信号モデルの開発とそのモデルに含まれる時変パラメータの推定手法の提案を目的とし、i)時変パラメータを持つ新しい数学モデルの開発、ii)モデルに含まれる時変パラメータの推定手法の提案、iii)提案手法のスペクトル解析、音声信号処理、地震加速度モデルへの応用、の成果を得た。

研究成果の概要(英文)：A great deal of interest has been paid to develop models of random signals such as auto-regression(AR) model, moving-average(MA)model, ARMA model and so on. In addition, the estimation methods for model parameter have been proposed. Such model can be applied to detection, estimation and prediction of signals. Conventionally, many models represent the stationary random signal. However, many signals in nature should be represented as nonstationary models. The purpose of this research is to develop mathematical models of signals having nonstationary properties and to propose estimation methods of time-varying parameters included in the models. Results of the research are as follows: i) As mathematical model of signals, new model with time-varying parameters has been proposed. ii) Estimation methods of nonstationary signal model have been proposed. iii) Proposed methods have been applied to the spectrum analysis, speech signal processing and seismic signals.

研究分野：信号処理

キーワード：非定常信号 時変モデル 推定

1. 研究開始当初の背景

不規則信号を表現する数学モデルは、その信号の解析、雑音を除去するためのフィルタの構築、また未来の信号の状態を予測することなど様々な応用が期待できることから、これまで多くの研究がなされてきた。本研究開始当初、提案されていた信号モデルの多くは、信号の統計的性質が時間とともに変化しない定常確率過程モデルであり、これらのモデルは計測装置や通信装置により得られる信号に介在する定常雑音の除去や、周期的に変化する定常信号の解析に応用されてきた。しかし、音声信号、地震波、脳波や心電などの生態信号、さらには、レーダーや磁気センサー信号など、多くの信号は統計量や周波数情報などの統計的性質が時々刻々変化する非定常性をもつことから、信号を非定常過程として扱えるようなモデルの構築が必要とされていた。このような非定常過程モデルやそのモデルに含まれる係数(パラメータ)の推定手法の一つとして、定常不規則過程のモデルとしてよく用いられる自己回帰モデルの係数を時々刻々変化するものに拡張させた時変自己回帰(Time-varying Autoregressive, 以下 TVAR と表現する)モデルは、非定常過程を簡潔に表現できるモデルとして、その推定手法が種々提案され、様々な応用についてレーダー信号処理や生体信号への応用が検討されてきた(引用文献[1]-[3])。TVAR モデルに関する研究を取り扱っている研究グループの一つである、ボルドーの研究グループは 1980 年代から基底関数を用いて時変係数を表現し、係数の推定問題をその基底関数の重みパラメータの最小二乗推定問題に帰着させた手法を開発している(引用文献[4])。また非定常過程の表現が可能な TVAR モデルに、さらに定常雑音が付加された観測データからの推定問題に対しては、同研究グループによるカルマンフィルタ、EIV(error-in-variance)法およびキュムラントを用いたアプローチ(引用文献[5])、オーストラリアおよびイギリスの研究グループによるパーティクルフィルタを用いたトラッキング手法(引用文献[6])などが既に提案されている。しかし、非定常過程の取り扱いの困難さから、これらの推定手法は十分な推定精度を持っていない。これらのことから、本研究では新たな非定常信号モデルの提案とそのモデルパラメータを定常雑音が付加された観測データから高精度に推定する新しい手法を開発することを目的とした。

2. 研究の目的

1. で述べたように本研究では、統計的性質が時々刻々変化する非定常不規則信号を表現するための数学モデルを構築し、そのモデルに含まれる係数(パラメータ)を高い精度で推定する新しい手法を開発することを目的とする。また信号モデルおよびその推定された係数を用いた時変なスペクトルの表現

手法について検討し、時々刻々性質が変化する信号の解析手法を提案する。また、非定常性を示す実データを収集し、そのデータに対する予測、フィルタリングへの応用についても検討し、本研究で開発する手法の有効性を確認する。

具体的には、

i) 雑音が付加された TVAR モデルの時変係数の推定手法の開発と性能評価。

ii) 一般化したモデルの提案とその有効性。

iii) 時変スペクトルの表現手法の構築と、実データと提案するモデルとの整合性。

の 3 点を明らかにすることを目的とする。i) では、すでに提案されている研究成果の拡張を試み、より精度の高い推定手法を検討する。また ii) では、非定常信号に対して、より一般性を持ったモデルを実現できるか、その可能性について検討を行なう。iii) については、本研究で提案する信号モデルから導出できるスペクトルの表現手法を構築し、従来の表現との比較を行う。

3. 研究の方法

非定常信号モデルの推定問題に対して、雑音に乱された観測データを用いた時変係数を持つ自己回帰(TVAR)係数の推定手法を最小二乗法、およびトラッキングによる手法の 2 つのアプローチで開発する。については時変係数を基底関数およびその重み係数で表現し、パラメータ推定に帰着させ、様々な数学的アプローチを応用し、様々な推定手法を提案しながら、有効な手法について考察する。については、レーダートラッキングに用いられるシステムのモデリング手法を参考にしながら、様々なモデル係数の変化に対応できる手法を開発し推定精度を向上させる。また、様々な非定常信号を表現するため、信号モデルの一般化をはかる。さらに、これらの手法の有効性を確認するために、時間変化するスペクトルの表現手法を提案し、実際に扱われる信号や自然界に存在する信号の計測を行い、実データと模擬データの比較を行なう。

4. 研究成果

(1) 重み付基底関数で表現された TVAR モデル係数の推定

Grenier(引用文献[6])が提案した TVAR モデルの時変係数を基底関数と重みパラメータで表現する方法に対して、観測データに付加された白色雑音の影響により発生する推定値のバイアス問題に対して、(提案手法 1) 雑音の部分空間を基にした一般化固有値解析を基にした手法、(提案手法 2) EIV(errors-in-variables)を用いた手法を新たに開発した。いずれの手法においても、推定値のバイアスの原因となる付加白色雑音の分散をあらかじめ推定し、それにより得た分散の推定値よりバイアスを除去する手法である。(提案手法 1) は TVAR モデル次数

を超えた観測データの相関要素を持つ共分散行列を生成し、モデル係数の重みパラメータと付加雑音の分散を同時に得られるような方程式を一般化固有値問題を解くことによって未知パラメータを導出できるような手法であり、(提案手法2)では高次数のモデルを疑似的に設定し、本来の次数のモデルとを組み合わせる付加雑音の分散を予めEIV(errors-in-variables)により推定し、その推定値を用いてバイアスの無いTVARモデル係数を推定する手法である。いずれの手法についてもシミュレーション実験を実施し、既に提案されている i) 逐次EIVを用いた手法、ii)カルマンフィルタおよび iii)拡張カルマンフィルタによるトラッキング手法、iv)キュムラントを用いた手法、と比較した。これらの結果を図1-3に示す。

TVARモデル次数を2とし、図1のように極が移動する非定常不規則信号に対して、そのモデル係数をSN比が-2.0から4.0 dBの範囲に収まる定常白色雑音が付加された観測データから推定した。2つの提案手法による推定結果に対してキュムラントを用いた手法との比較を図2に、カルマンフィルタおよび拡張カルマンフィルタによる手法を図3に示す。いずれの結果からも提案した手法の有効性が示された。

(2) 多重非定常信号のモデルパラメータの推定

(1)で提案した推定手法を多重信号に応用し、シミュレーション実験によりその有効性を確認し、付加雑音の影響を考慮しない従来の最小二乗法による手法と比較した。その結果、付加雑音の影響による推定値のバイアスが解消されていることが確認された。

(3) 有色雑音が付加された観測データによるモデル時変係数の推定

移動平均(MA)モデルで表現される有色雑音が観測データに付加されたとして、その観測データからモデル時変係数を推定する手法として繰り返し最小二乗推定法を開発した。またシミュレーション実験により提案手法の有効性を確認した。

図4のように極が移動する4次のTVARモデルに対して従来の最小二乗推定による手法、カルマンフィルタ、また拡張カルマンフィルタを用いた手法と比較した結果を図5に示す。

(4) 提案手法の応用

提案した非定常信号モデルとその係数の推定手法の応用として

音声信号への応用

地震加速度モデルとしての利用

観測データに含まれる局所信号の検出

の3点を実施した。については(1)で提案した係数推定手法を用い、提案手法を実データに応用したときの実行可能性を確認し、非定常スペクトル解析手法について検討した。

については耐震設計などでよく用いられる模擬地震波の生成についても検討した。

についてはこれまでに研究されてなかった

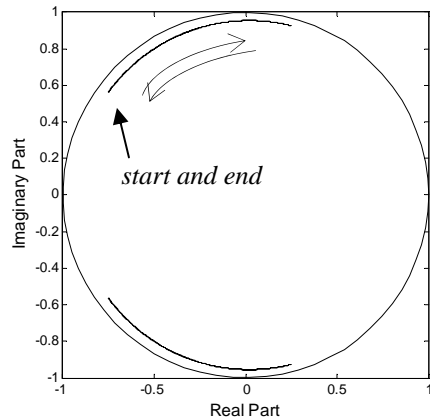


図1 非定常不規則信号の極の移動

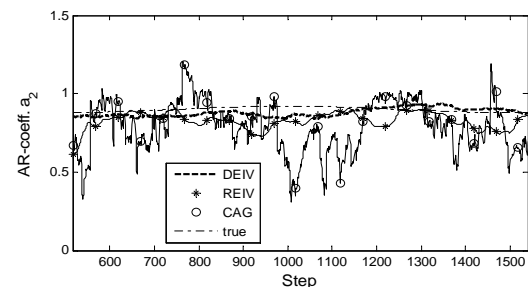
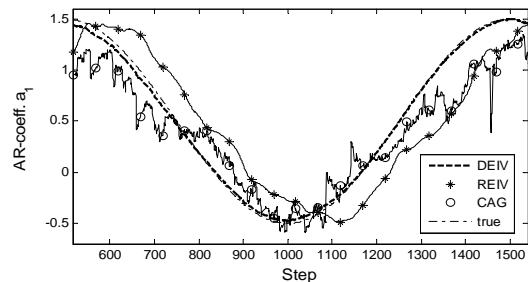


図2 推定結果の比較1 (DEIV: 提案手法2, REIV: 逐次EIV, CAG: キュムラントを用いた手法, true: 真値を示す)

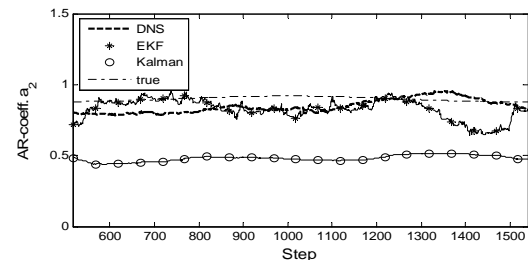
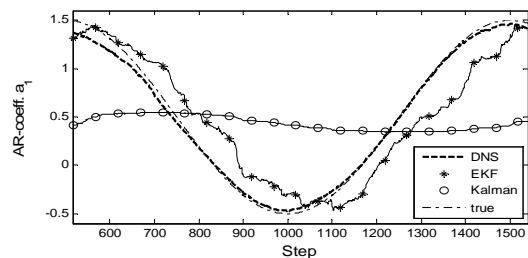


図3 推定結果の比較2 (DNS: 提案手法1, EKF: 拡張カルマンフィルタ, Kalman: カルマンフィルタ, true: 真値を示す)

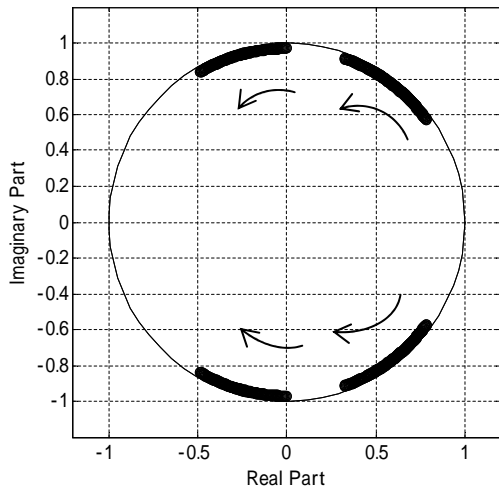


図4 4次のTVARモデルにより生成した非定常信号の極の移動

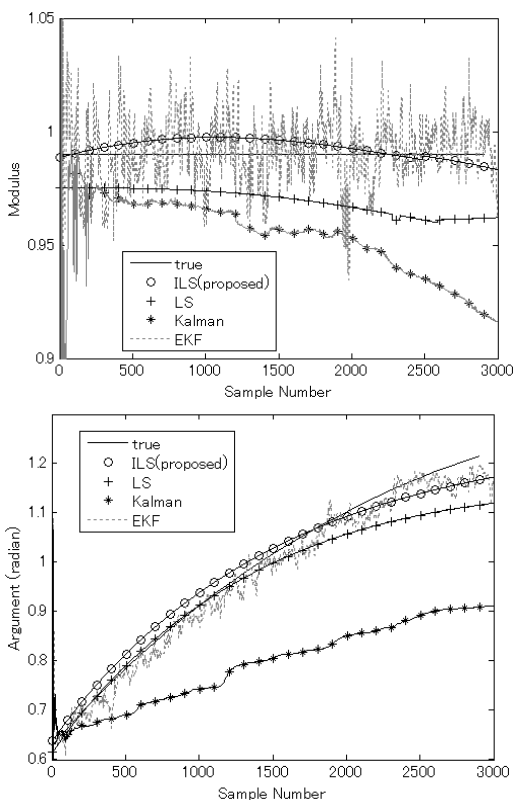


図5 絶対値(上図)と偏角(下図)の変化で見た推定結果の比較(true:真値, ILS:提案手法, Kalman:カルマンフィルタ, EKF:拡張カルマンフィルタを示す)

定常雑音と非定常雑音が混在する観測データ中に含まれる局所確定信号の検出に応用しその有効性をシミュレーション実験により確認した。

<引用文献>

[1] Y. I. Abramovich, N. K. Spencer, and M. D. E. Turley, "Time-Varying Autoregressive (TVAR) Models for Multiple Radar Observations," IEEE Trans. on Signal Processing, 2007.

[2] J.P. Kaipio and P.A. Karjalainen, "Estimation of event-related synchronization changes by a new TVAR method," IEEE Trans. on Biomedical Engineering, 1997.

[3] R. Bilas Pachori and P. Sircar, "EEG Signal Analysis Using FB Expansion And Second-Order Linear TVAR Process," Signal Processing, 2008.

[4] Y. Grenier, "Time-Dependent ARMA Modeling of Nonstationary Signals," IEEE Trans. on Acoust. Speech Signal Process, 1983.

[5] M. Bakrim, D Aboutajdine, and M. Najim, "New Cumulant-based approaches for non-Gaussian Time-varying AR models," Signal Processing, 1994.

[6] J. Vermaak, C. Andrieu, A. Doucet, S. Godsill, "Particle methods for bayesian modeling and enhancement of speech signals," IEEE Trans. Speech Audio Processing, 2002.

5. 主な発表論文等

(雑誌論文)(計6件)

H. Ijima, R. Diversi and E. Grivel, Iterative approach to estimate the parameters of a TVAR process corrupted by a MA noise, Proceedings of the 22nd European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2014), 2014, pp. 456-460, 査読有.
<http://www.eurasip.org/Proceedings/Eusipco/Eusipco2014/HTML/papers/1569923795.pdf>

R. Diversi, H. Ijima and E. Grivel, Prediction Error Method to Estimate the AR Parameters when the AR Process is Disturbed by a Colored Noise, Proc. 2013 IEEE Int. Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP2013), 2013, pp. 6143-6147, 査読有.

http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=6638845

H. Ijima and E. Grivel, Detecting Signals in a Non-stationary Environment Modeled by a TVAR Process from Data Corrupted by an Additive White Noise, Proc. 3rd International conference on Circuits, Systems, Control, Signals (CSCS '12), 2012, pp.122-126, 査読有.
<http://www.wseas.us/e-library/conferences/2012/Barcelona/CSCS/CSCS-20.pdf>

H. Ijima and E. Grivel, Deterministic regression methods for unbiased estimation of time-varying autoregressive parameters from noisy observations, Signal Processing (ELSEVIER), Volume 92, Issue 4, 2012, pp.

857-871, 査読有.

DOI: 10.1016/j.sigpro.2011.09.020

H. Iijima and E. Grivel, Estimation of Multichannel TVAR Parameters from Noisy Observations Based on an Evolutive Method, Proc. 19th, European Signal Processing Conference (EUSIPCO2011), 2011, pp. 990-994, 査読有.

<http://www.eurasip.org/Proceedings/Eusipco/Eusipco2011/papers/1569426383.pdf>

H. Iijima, J. Petitjean and E. Grivel, Evolutive Method Based on a Generalized Eigenvalue Decomposition to Estimate Time Varying Autoregressive Parameters from Noisy Observations, Proc. 2011 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP2011), 2011, pp. 596-599, 査読有.

http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=5947181

6 . 研究組織

(1)研究代表者

井嶋 博 (IJIMA, Hiroshi)
和歌山大学・教育学部・教授
研究者番号：90397604